第40卷 第6期
2023年6月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 40 No. 6
Jun. 2023

基于MRSEI模型的阿勒泰市生态环境时空变化及驱动力分析

刘 笑[1,2]， 郭 鹏[1,2]， 祁佳峰[1,2]， 杜文玲[1,2]， 张茹倩[1,2]， 张 坤[1,2]

（1. 石河子大学理学院，新疆 石河子 832003；2. 绿洲城镇与山盆系统生态兵团重点实验室，新疆 石河子 832003）

摘 要：为及时、客观、定量地评估新疆阿勒泰市生态环境，研究基于多源遥感数据构建改进型遥感生态指数（MRSEI）结合标准差椭圆和重心迁移模型分析其时空变化特征，并使用地理探测器模型对绿度、干度、湿度、温度和空气质量5个指标进行因子探测。结果表明：（1）2015—2021年，阿勒泰市绿度和湿度指标对于区域内生态环境起显著正相关作用，温度、干度和空气质量这3个指标起显著负相关作用；（2）2015—2021年阿勒泰市MRSEI均值呈上升趋势，空间上，Ⅰ级和Ⅱ级生态指数区域的空间迁移能力较强，Ⅲ~Ⅴ级，即高生态指数区域在空间结构上相对较为稳定。Ⅰ~Ⅳ级生态指数重心总体向北移动，Ⅴ级生态指数重心整体向南移动，表明阿勒泰市南部高生态指数分布增长明显。（3）年份不同，造成生态环境质量改变的主导因子不同，阿勒泰市生态环境质量空间的演变是受到多个因素共同作用的结果。（4）MRSEI和RSEI（遥感生态指数）对阿勒泰市生态监测结果大致趋势一致，两者在空间分布和程度的差异与气溶胶光学厚度（AOD）的空间分布有关，表明了即使在空气质量较好的阿勒泰市AOD对其生态质量在空间分布上仍有影响。2015—2021年，阿勒泰市生态环境受多种因素影响有向南变好的趋势。

关键词：改进型遥感生态指数；生态环境质量；地理探测器；重心迁移模型；阿勒泰市

生态环境是人类生存和发展的基础[1-2]，更是实现区域社会经济可持续发展的关键[3-4]。因此，科学准确地认识区域生态环境状况十分必要[5-6]。城市作为一个地区乃至一个国家人口、经济、文化的集中点是进行生态环境研究的重要对象。然而，随着城镇化进程的快速推进[7]，加快了人类活动对地表环境的破坏，使得城市生态系统面临着严峻的挑战[8]。因此，客观、定量、及时地分析城市生态环境时空变化特征及其驱动因子，已经成为保护生态环境的必要途径和热门研究内容[9]。

相较于传统评估生态环境质量的方法，遥感以其快速、实时、大规模监测以及数据的开放获取等优势，在生态环境领域得到了广泛应用[10-12]。目前，国内外遥感生态环境监测与评价常用模型研究主要有两大类：一类是单一指数模型；另一类是综合指数模型[13]。基于遥感的单一指数模型虽然具有简易的特点，但由于影响因子的多样性和复杂性，仅仅依靠单一指标难以较好的全面揭示生态环境的系统性变化[14-15]。徐涵秋[16]以城市生态系统为例，通过主成分分析，耦合绿度、湿度、干度、热度4个指标构建城市遥感生态指数（RSEI），此指数不仅完全基于遥感信息而且综合考虑多种因素，能够对区域生态环境的时空变化进行系统分析，已被广泛地应用于城市生态环境质量状况评价[17]。但由于每个研究区都有其特定的生态环境，分析的侧重点也有所差别[18]，因此不断有学者对其进行改善[19-24]。如王杰等[25]加入土地退化度信息指标，构建了适用于干旱区的遥感生态指数（ARSEI）；范德芹等[26]引入植被净初级生产力（NPP），对矿区生态环境状况进行了系统评价；刘英等[27]引入空气质量指标，以北京市为例构建改进型遥感生态指数（MRSEI），对比分析发现MRSEI更适用于城市生态质量评价。

收稿日期：2022-09-24； **修订日期：**2023-03-31
基金项目：国家自然科学基金项目（U2003109）
作者简介：刘笑（1999-），女，硕士研究生，主要从事遥感图像处理与应用研究. E-mail: liuxiao_9902@163.com
通讯作者：郭鹏. E-mail: gp163@163.com

在生态环境领域，地理探测器模型因其探测空间分异性并能揭示其背后驱动力的强大能力被广泛应用[3,28]。如：朱增云等[29]采用地理探测器模型对伊犁谷地生境质量的空间分布和变化趋势进行驱动因子探测、交互作用探测以及生态探测分析；排日海·合力力等[3]使用地理探测器中单因子分析和多因子交互作用分析法对乌鲁木齐RSEI的8个影响因子进行影响程度的定量探测。阿勒泰市处于干旱区，生态环境十分脆弱，相关生态环境研究开展较少，而系统、全面、定量的评价生态环境时空变化特征及驱动因子工作在阿勒泰市相对较少。本研究利用MRSEI模型，结合时间序列遥感影像数据，探究了2015—2021年阿勒泰市的生态环境质量时空动态变化特征，并应用地理探测器模型，分别对绿度、干度、湿度、温度和空气质量5个指标进行了单因子探测与多因子交互探测，分析其对研究区生态环境指数的影响程度。

1　研究区与方法

1.1　研究区概况

阿勒泰市（86°53′~88°27′E，47°14′~48°39′N）位于阿尔泰山南麓，准葛尔盆地北缘（图1）。南北长146 km，东西宽84 km，总面积1.15×10^4 km²。阿勒泰市自北向南呈明显的梯降式垂直分布，自上而下可分为北部山区、南部丘陵区、山间冲积平原区3个自然地貌单元。属中温带亚干旱大区、干旱大区气候带，南北气候差异较大。据监测资料显示，该市空气质量较好达到国家二级标准，主要污染物为可吸入颗粒物（PM_{10}）和细颗粒物（$PM_{2.5}$）[30-31]。

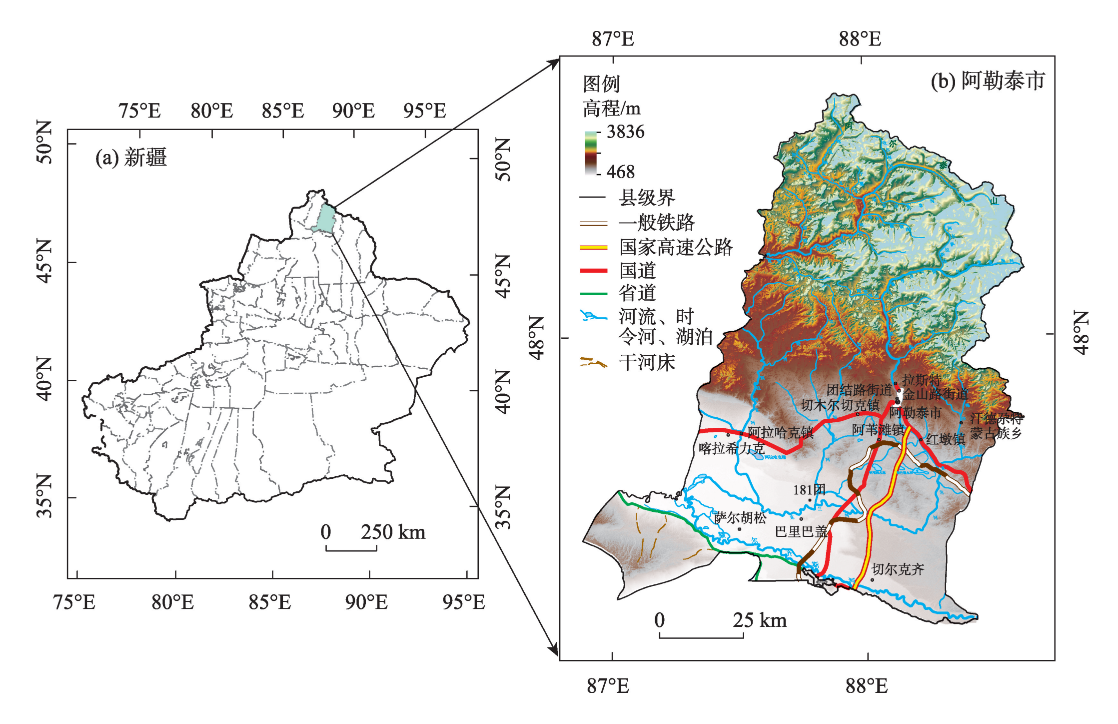
1.2　数据来源与处理

本文使用的数据包括行政区划数据、Landsat8 OLI影像数据、MCD19产品数据、DEM数据（表1）。数据处理过程包括利用ENVI 5.6对Landsat8 OLI数据进行辐射定标、FLAASH大气校正、图像镶嵌与裁剪、指标计算、归一化以及主成分分析，MODIS MCD19数据利用MCTK工具进行处理。

2　研究方法

2.1　MRSEI和RSEI模型构建

遥感生态指数（RSEI）模型利用主成分分析耦合了绿度——归一化差值植被指数NDVI、热度——地表温度LST、干度——建筑和裸土指数NDB-



注：(a)图采用新疆自然资源厅标准地图制作，审图号为新S(2021)047号，对底图边界无修改；
(b)图采用新疆自然资源厅标准地图制作，审图号为新S(2021)165号，对底图边界无修改。下同。

图1　研究区示意图

Fig. 1　Location of the study area

表1 数据来源

Tab. 1 Data source

数据	空间分辨率	时间/年-月-日	数据来源
行政区划	1:1000000	2013	国家地球系统科学数据中心 https://www.geodata.cn/
Landsat8 OLI L1	30 m	2015-08-18、2017-08-23、2019-08-13、2021-08-02	地理空间数据云 http://www.gscloud.cn/
MCD19 A2	1 km	2015-08-18、2017-08-23、2019-08-13、2021-08-02	美国航空航天局 https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/
DEM	30 m	-	地理空间数据云 http://www.gscloud.cn/

SI、湿度——缨帽变化的湿度分量WET，函数表达式为：

$$\text{RSEI}=f(\text{NDVI},\text{WET},\text{LST},\text{NDBSI}) \quad (1)$$

改进型遥感生态指数（MRSEI）是在RSEI的基础上引入空气质量指标——AOD气溶胶光学厚度所构建的新指数[27]，与RSEI相比更适用于城市生态质量评价。改进型遥感生态指数函数表达式为：

$$\text{MRSEI}=f(\text{NDVI},\text{WET},\text{LST},\text{NDBSI},\text{AOD}) \quad (2)$$

（1）绿度指标

NDVI能够反映植被覆盖度[32]。因此，选用NDVI代表绿度指标，公式为：

$$\text{NDVI}=(\rho_5-\rho_4)/(\rho_5+\rho_4) \quad (3)$$

（2）热度指标

热度指标用地表温度代替，公式为[33-34]：

$$\text{LST}=T/\ln\left[1+\left(\lambda\times\frac{T}{\rho}\right)\right]\times\ln\varepsilon \quad (4)$$

$$L_\lambda=gain\times DN+bias \quad (5)$$

$$T=K_2/\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda+1}\right) \quad (6)$$

式中：T为传感器处温度值；λ为Landsat8 OLI第10波段的中心波长（λ=10.895 μm）；ρ=1.438×10^{-2}；ε为地表比辐射率，其取值参考文献[35]；L_λ为Landsat8 OLI的热红外10波段在传感器处光谱辐射值；DN值为像元灰度值；$gain$和$bias$分别为第10波段的增益和偏置值；K_1和K_2分别为774.89 W·(M^2·sr·μm)$^{-1}$和1321.08 K。

（3）湿度指标

湿度指标用缨帽变化的湿度分量WET表示，公式为[27]：

$$\begin{aligned}\text{WET}=&0.1511\times\rho_2+0.1972\times\rho_3+0.3283\times\rho_4+\\&0.3407\times\rho_5-0.7117\times\rho_6-0.4559\times\rho_7\end{aligned} \quad (7)$$

（4）干度指标

由IBI建筑指数[36]和裸土指数SI[37]两者合成代表干度指标，公式为：

$$\text{NDBSI}=(\text{IBI}+\text{SI})/2 \quad (8)$$

$$\text{IBI}=\frac{2\times\frac{\rho_6}{\rho_6+\rho_5}-\left(\frac{\rho_5}{\rho_5+\rho_4}+\frac{\rho_3}{\rho_3+\rho_6}\right)}{2\times\frac{\rho_6}{\rho_6+\rho_5}+\left(\frac{\rho_5}{\rho_5+\rho_4}+\frac{\rho_3}{\rho_3+\rho_6}\right)} \quad (9)$$

$$\text{SI}=\frac{(\rho_6+\rho_4)-(\rho_5+\rho_2)}{(\rho_6+\rho_4)+(\rho_5+\rho_2)} \quad (10)$$

式中：ρ_i（i=2，3，4，5，6，7）分别为Landsat8 OLI影像对应波段的反射率。

（5）空气质量指标

AOD数据是根据多角度大气校正算法MAIAC反演的MODIS新气溶胶产品MCD19[38]，空间分辨率为1 km。据文献[39-46]研究表明，AOD能够准确反应一定地区范围内颗粒物空气质量，并且AOD与$PM_{2.5}$与PM_{10}浓度具有较高的相关性，而根据新疆生态环境状况公报[30]表明，阿勒泰市空气质量首要污染物以PM_{10}和$PM_{2.5}$为主。综上分析，AOD可以较好地表征阿勒泰市的空气质量。

为了消除不同指标之间量纲不同所带来的影响，对各个指标进行正规化，将量纲统一到[0,1]公式为：

$$NI_i=(I_i-I_{\min})/(I_{\max}-I_{\min}) \quad (11)$$

式中：NI_i为第i个指标正规化后的值；I_i为第i个指标值；$I_{\min}$为第i个指标的最小值；$I_{\max}$为第i个指标的最大值。

利用主成分分析法确定各个指标所占的权重，选取主成分分析后，特征贡献率最高的第一主成分PC1，此成分不仅很好的集成了每个指标的信息，并能够进行合理的解释，因此，PC1可用于创建综合指数。为了使PC1值与所代表的生态环境成正比，采用1-PC1作为初始的改进型遥感生态指数MRSEI_0：

$$\text{MRSEI}_0=1-\text{PC1}[f(\text{NDVI},\text{WET},\text{LST},\text{NDBSI},\text{AOD})] \quad (12)$$

为了指标间的度量和比较更加便捷，需对

$MRSEI_0$进行正规化处理：

$$NP=(P-P_{\min})/(P_{\max}-P_{\min}) \tag{13}$$

式中：P代表$MRSEI_0$；NP代表归一化的变量，取值范围是[0,1]，值越大表示生态越好，反之，越差。

2.2　MRSEI分等定级

通过计算MRSEI，对阿勒泰市生态环境进行区域分异和时间变化分析。根据《生态环境评价技术规范》中生态环境状况分级标准，以0.2为间隔，将MRSEI分成5个等级，等级越高代表生态环境越好。具体划分情况如表2。

表2　MRSEI分级

Tab. 2　MRSEI classification

级别	MRSEI值	描述
Ⅴ级	0.8<MRSEI≤1	生态环境状况优秀
Ⅳ级	0.6<MRSEI≤0.8	生态环境状况良好
Ⅲ级	0.4<MRSEI≤0.6	生态环境状况中等
Ⅱ级	0.2<MRSEI≤0.4	生态环境状况较差
Ⅰ级	0≤MRSEI≤0.2	生态环境状况差

2.3　标准差椭圆及重心迁移模型

将侧重于经济、人口、产业研究的重心迁移法引入到生态环境质量评价中[47]，揭示阿勒泰市生态环境质量同一等级不同时期的重心迁移方向、迁移距离以及聚散程度等空间动态变化规律。借助于ArcGIS 10.7计算重心并绘制重心移动路径图。阿勒泰市生态环境质量各级的重心计算公式为：

$$\overline{X}=\frac{\sum_{i=1}^{n}C_{ti}X_i}{\sum_{i=1}^{n}C_{ti}} \tag{14}$$

$$\overline{Y}=\frac{\sum_{i=1}^{n}C_{ti}X_i}{\sum_{i=1}^{n}C_{ti}} \tag{15}$$

式中：$\overline{X}$ 和 $\overline{Y}$ 分别为重心经度、纬度；C_{ti}为第t年第i等级生态环境指数的面积；X_i、Y_i分别为第i等级生态环境指数几何中心经纬度；n为该等级生态环境指数面积总数。

2.4　地理探测器

地理探测器不仅能够探测空间分异现象而且可以揭示其背后驱动力。在基于遥感的生态环境质量评价中该方法被应用的越来越广泛。地理探测器共有4个探测器[48]，本文选用因子探测和交互作用探测2个。

（1）因子探测

因子探测器能够探测属性的空间分异性，以及探测某因子多大程度上解释了属性的空间分异，用q值度量，公式如下：

$$q=1-\frac{\sum_{h=1}^{L}N_h\sigma_h^2}{N\sigma^2} \tag{16}$$

式中：h表示因子的分级；N_h表示分级h研究对象的个数；N表示整个研究区对象的个数；$N\sigma^2$表示分级h的方差；σ^2和σ_h^2分别表示整个研究区和分级h的方差。

（2）交互作用探测

能够探测2个因子共同作用时对于Y的作用是增强或者减弱，探测结果可以分为以下几种（表3）。

表3　两因子交互作用结果[29]

Tab. 3　Two-factor interaction results

图示	判断依据	类型
	$q(X1\cap X2)<\mathrm{Min}[q(X1),q(X2)]$	非线性减弱
	$\mathrm{Min}[q(X1),q(X2)]<q(X1\cap X2)<\mathrm{Max}[q(X1),q(X2)]$	单因子非线性减弱
	$\mathrm{Max}[q(X1),q(X2)]<q(X1\cap X2)<q(X1)+q(X2)$	双因子增强
	$q(X1\cap X2)=q(X1)+q(X2)$	独立
	$q(X1\cap X2)>q(X1)+q(X2)$	非线性增强

3　结果与分析

3.1　阿勒泰市RSEI与MRSEI对比分析

基于阿勒泰市2015—2021年的MRSEI和RSEI计算结果进行等级划分，结果如表4所示。阿勒泰市生态环境质量等级以差、较差和中等为主，生态环境质量良好和优秀的区域面积较小。生态环境质量差的区域占研究区总面积的26%以上，主要分布在建成区、农村居民点和工业区。生态环境质量较差的区域占研究区面积的25%以上，主要分布在研究区北部的裸地区域。生态环境质量中等的区域占研究区面积的17%以上，主要分布在研究区北

部的林地、南部部分草地及部分湿地。生态环境质量良好的区域占研究区面积的9%以上，主要分布在北部及南部的部分林地。而生态环境质量优秀的区域主要分布在部分耕地覆被区、部分林地及湿地，占研究区面积的4%以上。

将MRSEI与RSEI结果对比分析发现，尽管两者在空间分布和程度上存在差异，但其对阿勒泰市生态监测结果大致趋势一致。由图2a和图2b及表4可知，2015年MRSEI结果中生态差和较差的比例分别为26.88%、34.31%，而RSEI中生态差和较差的比例为29.81%、38.52%，分别增加2.93%和4.21%，但在中等、良好和优秀等级中，RSEI相较于MRSEI为减少趋势，分别减少3.86%、0.74%和2.54%。2017—2021年间，MRSEI和RSEI在不同等级之间

表4 生态质量各级比例

Tab. 4 Percentage of ecological quality levels

生态质量分级	2015年		2017年		2019年		2021年	
	MRSEI/%	RSEI/%	MRSEI/%	RSEI/%	MRSEI/%	RSEI/%	MRSEI/%	RSEI/%
差	26.88	29.81	28.97	28.45	27.65	27.65	30.50	29.64
较差	34.31	38.52	35.78	36.58	28.40	28.40	25.41	26.44
中等	21.15	17.29	19.51	19.54	23.76	23.76	20.99	19.90
良好	11.01	10.27	9.46	9.76	13.53	13.53	14.53	14.09
优秀	6.65	4.11	6.27	5.67	6.66	6.66	8.57	9.93

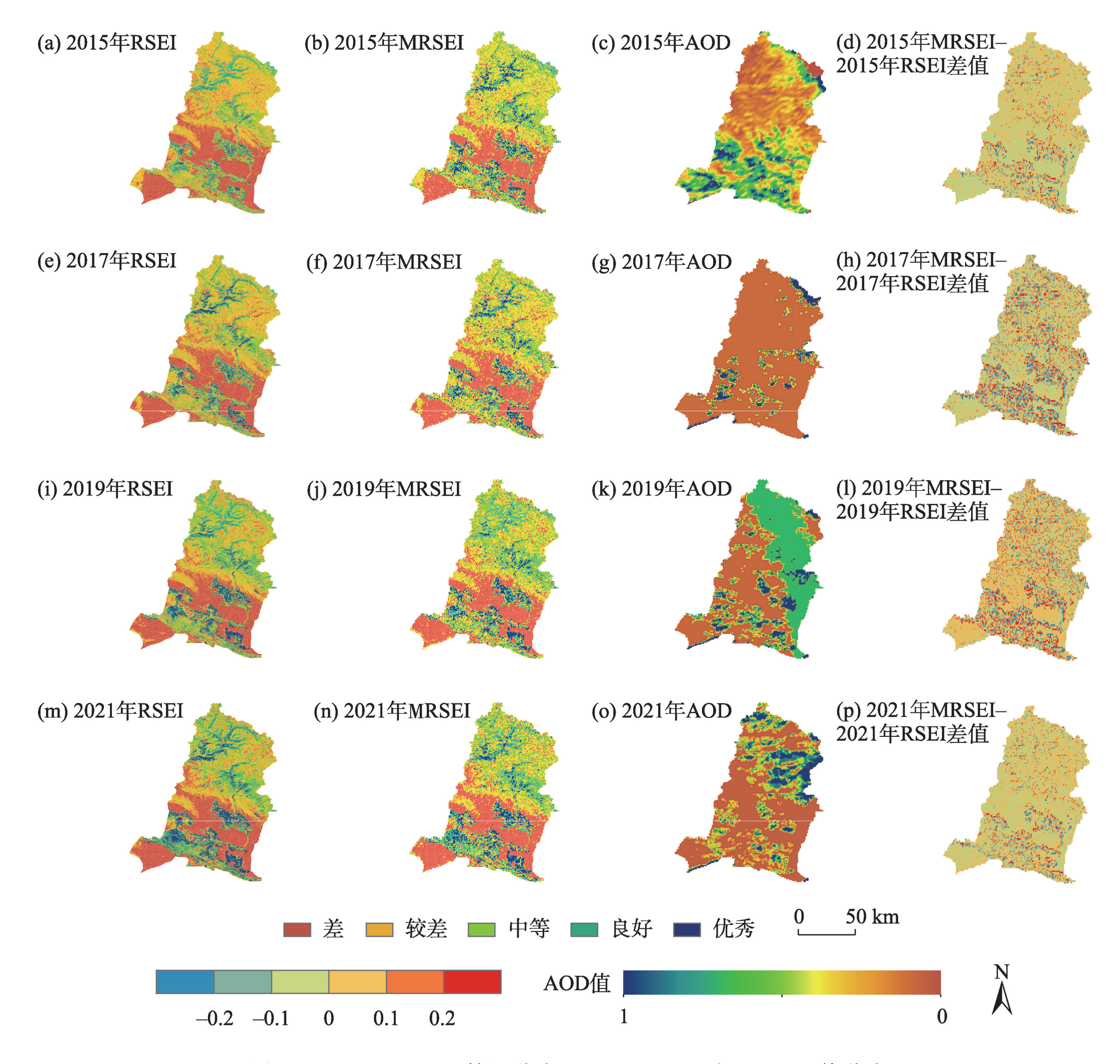


图2 RSEI和MRSEI等级分布、AOD、MRSEI与RSEI差值分布

Fig. 2 RSEI and MRSEI grade distribution, AOD, MRSEI and RSEI difference distribution

也有差别，但总体变化不大。由图2可知，生态环境恶化或转好部分与AOD严重程度的空间分布较为一致，表明城市生态质量受空气质量指标的影响。分析图2c、图2g、图2k、图2o可知，阿勒泰市建成区AOD较为严重，对应的图2b、图2f、图2j、图2n中此区域生态环境差和较差面积相较于图2a、图2e、图2i、图2m有所增加，而中等、良好和优秀则有所减少，整体图2b、图2f、图2j、图2n中此区域生态环境差于图2a、图2e、图2i、图2m。反映了阿勒泰市MRSEI与RSEI的差异与AOD的空间分布有关，表明了即使在空气质量较好的阿勒泰市AOD对其生态质量在空间分布上仍有影响。

3.2　阿勒泰市生态环境时空变化分析

3.2.1　改进型遥感生态指数时空变化分析　2015—2021年阿勒泰市的生态环境整体较好（图3），生态环境质量差的地区大部分集中在南部丘陵区、山间冲积平原区，由于这些地区土地利用类型较为丰富、气候条件适宜，人口密集且经济较为发达，人类活动过于频繁造成了生态环境质量总体比较差。塘巴湖、克兰河、乌鲁木齐盖提河附近以及北部山区由于植被覆盖率较高、水资源相对较为充足，再加上北部地区拥有自然保护区的优势条件，因此，这些地区生态环境质量的总体状况较好。

2015年、2017年、2019年、2021年阿勒泰市改进型遥感生态指数均值分别为0.3707、0.3525、0.3846、0.3850，整体呈上升趋势，说明2015—2021年间阿勒泰市生态环境质量总体变好。从图4可以看出，NDVI均值由0.4256提升至0.4900；WET均值由0.2209提升至0.2359；NDBSI均值由0.7665下降至0.7062；AOD均值由0.3538下降至0.2287。NDVI值的升高代表植被覆盖度的增加，WET值的升高代表土壤湿度的增加，而NDBSI和AOD值的下降则代表建筑或裸土面积的减少以及空气质量的好转，尽管在全球气候变暖大背景下LST均值由0.5865提升至0.6436，但并不影响阿勒泰市生态环境质量整体提高的趋势。这7 a中，阿勒泰市生态环境质量整体稳步提高得益于自2000年来新疆启动的公益林建设、林国产业发展、退耕还林等 一系列林业生态工程。

3.2.2　不同等级MRSEI时空特征分析　对2015—2021年间不同等级生态指数的空间变化进行分析结果表明（表5），重心平均偏移距离最大为Ⅰ级生态指数达2.598 km，Ⅱ级第二，为1.759 km，其他三级偏移距离在1 km之内，分别为Ⅲ级0.243 km、Ⅳ级0.661 km、Ⅴ级0.874 km。其中，2015—2017年，Ⅰ级重心偏移距离最大为9.720 km，Ⅴ级偏移距离最小，偏移1.393 km，其余偏移距离由大到小为：Ⅲ级、Ⅳ级和Ⅱ级，分别偏移3.747 km、3.044 km和2.429 km；2017—2019年，Ⅴ级偏移距离最大，且远远超过其他等级，高达9.892 km，说明该时间段内，此类生态指数在空间位置上跨度较大，与之相反，Ⅰ级生态指数重心偏移距离反而由2015—2017年偏移最大变为了偏移最小，仅有0.808 km，其余三级偏移距离也并不集中，分别为6.887 km、2.342 km、2.667 km，总体来看，该段时间内生态指数重心空间跨度较大；2019—2021年，生态指数重心距离偏移最大的仍为Ⅴ级，为6.048 km，其次为Ⅰ级偏移5.434 km，其他三级由高到低为：Ⅳ级偏移3.435 km、Ⅱ级偏移3.127 km、Ⅲ级偏移1.799 km。综上分析，阿勒泰市不同等级MRSEI指数重心在空间位置

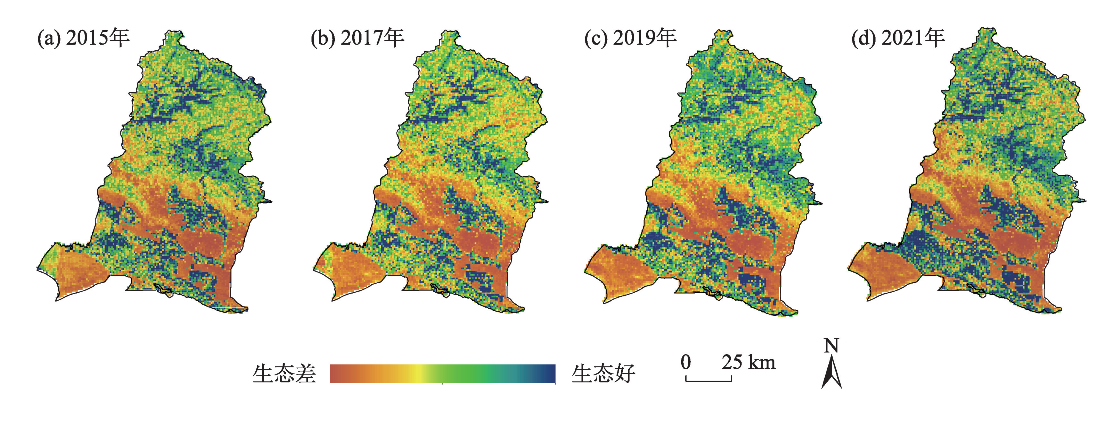


图3　改进型遥感生态指数空间分布

Fig. 3　Spatial distribution of MRSEI

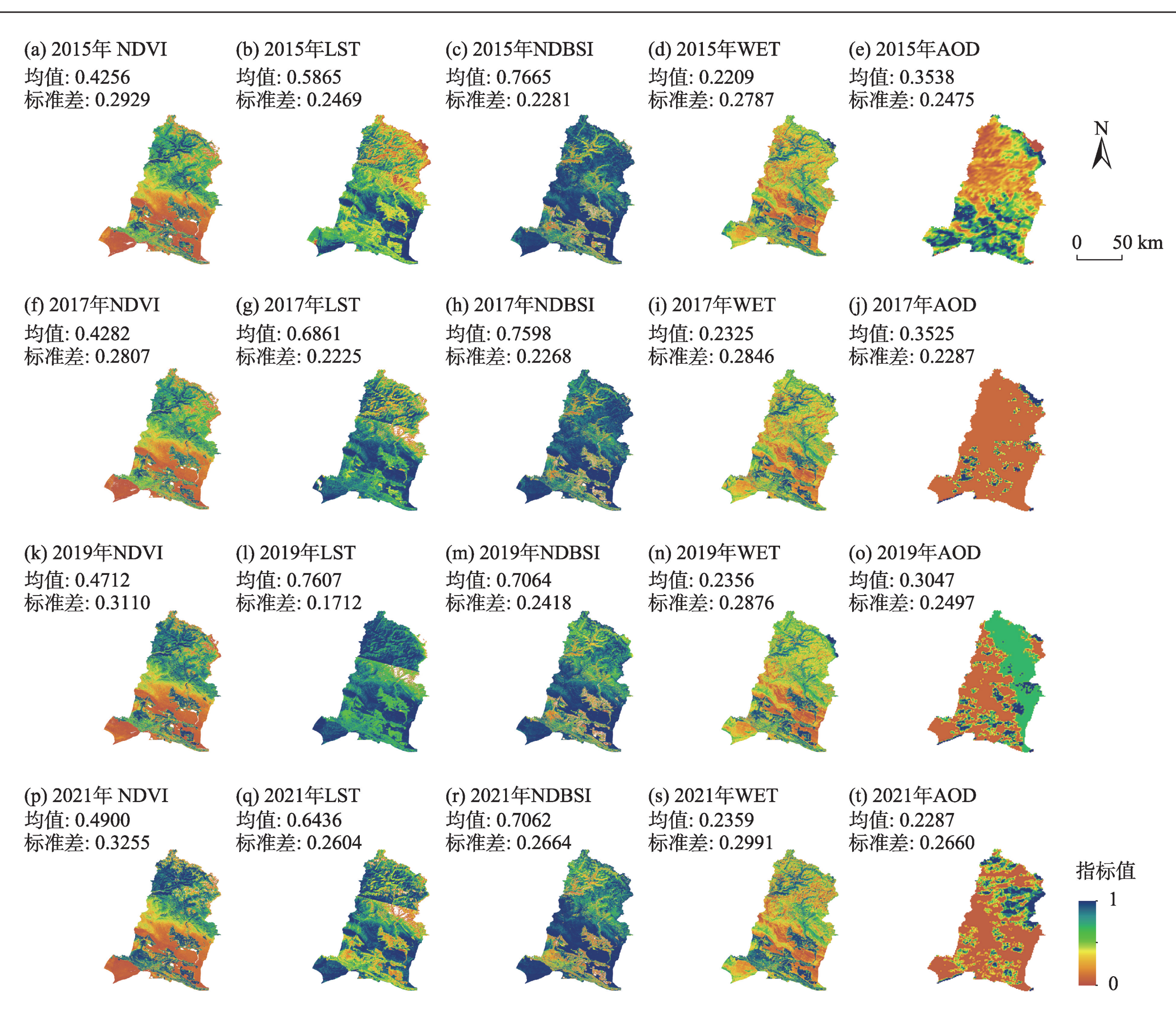


图4 2015—2021年5大指标空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of five major indicators from 2015 to 2021

表5 重心偏移距离与方位角统计

Tab. 5 Center of gravity offset distance and azimuth statistics

MRSEI等级	2015—2017年		2017—2019年		2019—2021年		2015—2021年
	偏移距离/km	方位角/(°)	偏移距离/km	方位角/(°)	偏移距离/km	方位角/(°)	平均偏移距离/km
Ⅰ	9.720	348.5°	0.808	232.0°	5.434	24.9°	2.598
Ⅱ	2.429	96.0°	6.887	198.0°	3.127	39.0°	1.759
Ⅲ	3.747	283.4°	2.342	56.9°	1.799	27.1°	0.243
Ⅳ	3.044	218.9°	2.667	7.9°	3.435	203.0°	0.661
Ⅴ	1.393	167.5°	9.892	187.4°	6.048	294.6°	0.874

上的变化较为稳定，Ⅰ级和Ⅱ级区域的空间迁移能力较强，Ⅲ~Ⅴ级区域的空间迁移能力相对较弱，即高生态指数区域在空间上相对稳定。

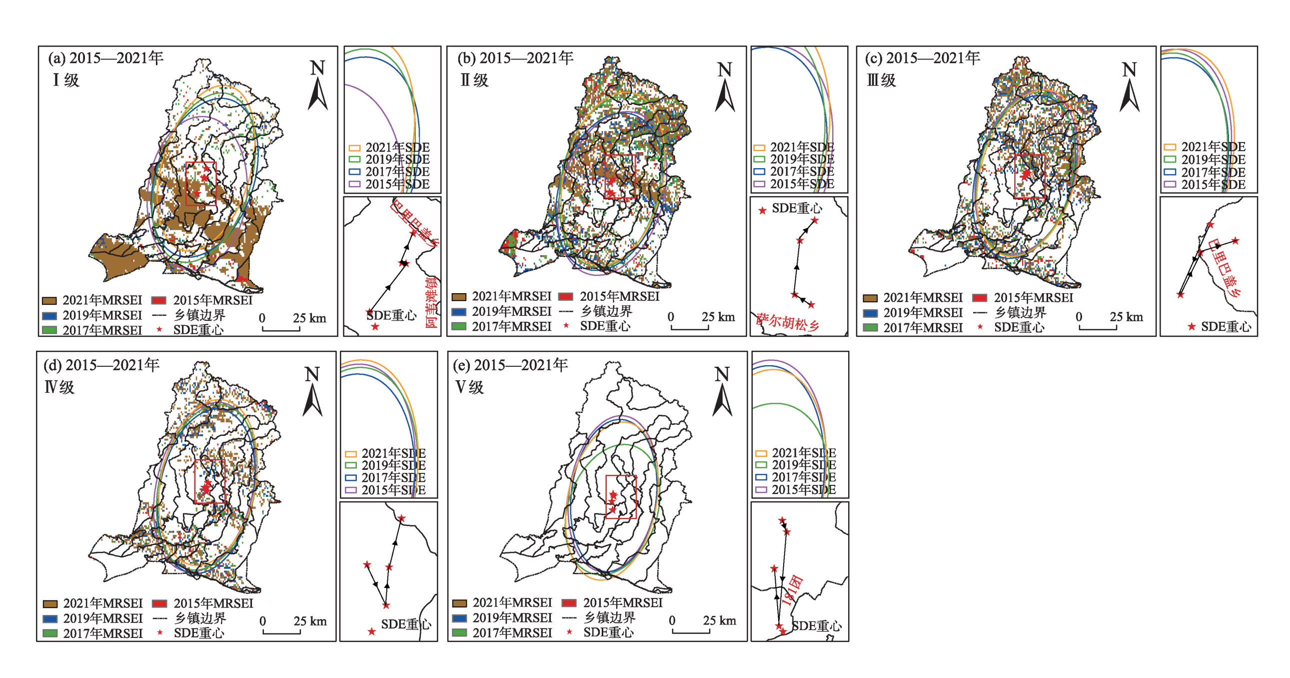
对比分析2015—2021年间Ⅰ~Ⅴ级生态指数重心迁移方向发现(图5)，Ⅰ~Ⅳ级生态指数重心总体北移，Ⅴ级重心则整体南移，表明阿勒泰市南部生态质量逐渐好转。其中，Ⅰ级生态指数重心从2015—2021年先向东北，再向西北，最后向东北偏移，偏移过程复杂，但都在切木尔切克乡内偏移；Ⅱ级生态指数重心这7 a间则呈现出持续向北的偏移特征，整体偏移角度不大；Ⅲ级生态指数重心2015—2017年向西南偏移，2017—2021年一路向东北蔓延，空间上跨越巴里巴盖乡和切木尔切克乡；Ⅳ级生态指数重心则呈现出类“V”型偏移，先向西

南,再持续向东北偏移;Ⅴ级生态指数重心偏移趋势则呈现出南移趋势,2015—2019年持续南移,虽在2019—2021年间有北移趋势,但仍在2015年重心位置的南面,反映了阿勒泰市南部Ⅴ级生态指数明显增长。分析2015—2021年阿勒泰市MRSEI指数重心迁移距离与方向发现,Ⅴ级重心围绕阿苇滩镇与181团变动,该区域相对其他地区农田与林地相对较多,对Ⅴ级生态指数的重心影响较大,也反映出了此种地类对于阿勒泰市生态环境优化起着非常重要的作用。

分析2015—2021年不同生态指数标准差椭圆半轴长可以发现,Ⅰ级生态指数的长轴先由47.2 km增长至58.1 km,再缩短至57.7 km,但整体仍为增长趋势,短轴则持续缩短,由42.3 km缩至33.8 km。扁率也在不断增大,表明Ⅰ级空间分布的方向性先增强后减小而离散程度在逐步增大;Ⅱ级生态指数长轴持续缩短,扁率也持续减小,但短轴却与两者呈现出完全相反的变化趋势,即持续增长,表明Ⅱ级空间分布的方向性呈减少趋势,离散程度也逐步减少。分析表6中其他三级空间标准差椭圆参数可以得出:Ⅲ~Ⅴ级空间分布的方向性总体呈减少趋势,空间分布更加集中。

3.3 阿勒泰市生态环境质量影响因子探测分析

3.3.1 单因子探测分析　单因子探测结果表明(图6),5个因子均具有显著性差异,可以作为影响因子对阿勒泰市生态环境质量空间异质性进行分析。q值度量这5个因子对于MRSEI的影响程度有多大,q值越大表示对MRSEI的影响程度越大,反之亦然。2015—2021年整体上看,湿度、温度、空气质量3个指标对于阿勒泰市生态环境质量的影响程度相对



注:SDE表示标准差椭圆。

图5　各等级MRSEI标准差椭圆及重心迁移轨迹

Fig. 5　MRSEI standard deviation ellipse and gravity center migration trajectory of each grade

表6　2015—2021年不同等级遥感生态指数标准差椭圆参数

Tab. 6　Standard deviational ellipse parameters for different levels of remote sensing ecological indice from 2015 to 2021

MRSEI等级	2015年			2017年			2019年			2021年		
	长轴 δx/km	短轴 δx/km	扁率 e	长轴 δx/km	短轴 δx/km	扁率 e	长轴 δx/km	短轴 δx/km	扁率 e	长轴 δx/km	短轴 δx/km	扁率 e
Ⅰ	47.2	42.3	0.10	57.9	33.8	0.42	58.1	32.6	0.44	57.7	33.8	0.41
Ⅱ	59.2	39.2	0.34	57.6	39.4	0.32	57.9	40.3	0.30	55.3	39.9	0.28
Ⅲ	55.2	39.7	0.28	54.2	41.9	0.23	50.0	40.4	0.19	51.0	40.1	0.21
Ⅳ	55.4	38.9	0.30	53.0	39.0	0.26	53.5	39.9	0.25	55.5	39.6	0.29
Ⅴ	49.3	36.7	0.26	48.0	37.9	0.21	46.0	38.4	0.17	49.4	39.5	0.20

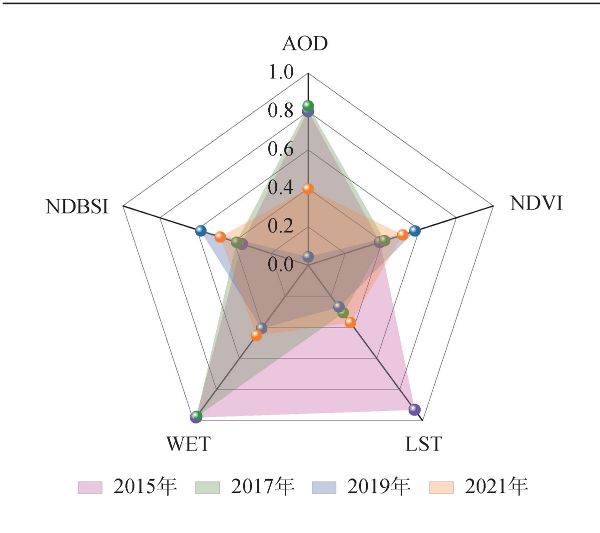


图6 单因子探测影响程度

Fig. 6 Impact of single factor detection

较大。其中,2015年的影响程度依次为:湿度>温度>空气质量>绿度>干度,而湿度指标、温度指标和空气质量指标 q>0.8,是2015年阿勒泰市改进型遥感生态指数的主导因子;2017年影响程度依次为:湿度>空气质量>绿度>干度>温度,相较于2015年,湿度和空气质量(q>0.8)依然是2017年的主导因子,而上一年主导因子之一的温度,在2017年影响程度 q 值仅为0.309;2019年影响程度依次为:干度>绿度>湿度>温度>空气质量,其中,干度和绿度是主导因子,但其影响程度相较于2015年和2017年也有所下降,q 值仅为0.585和0.582,2021年影响程度依次为:绿度>干度>湿度>空气质量>温度,其中绿度为主导因子(q=0.515)。分析各指标对PC1的贡献度(载荷值)(表7)发现,温度、干度和空气质量这3个指标为负值,说明它们对阿勒泰市生态环境共同起负面作用;而绿度和湿度指标均为正值,说明它们起积极作用,且这5个指标对于阿勒泰市生态环境状况的贡献度大小与单因子探测结果相一致。综上所述,在不同时间段,这5个因子对于阿勒泰市生态环境指标的影响程度有所不同。

表7 指标主成分分析PC1载荷

Tab. 7 Index principal component analysis PC1 load

指标	2015年	2017年	2019年	2021年
植被指数NDVI	0.58464	0.58555	0.6365	0.57504
建筑-裸土指数NDBSI	−0.45595	−0.48749	−0.50163	−0.4992
湿度WET	0.80562	0.73349	0.49878	0.49149
地表温度LST	−0.83571	−0.36101	−0.7323	−0.39089
空气质量AOD	−0.66934	−0.66743	−0.20122	−0.16055

3.3.2 交互作用分析 利用5类影响因子与阿勒泰市2015年、2017年、2019年和2021年生态环境指数进行交互探测分析,共计产生10项结果,如图7显示,任意2个因子的交互结构均呈现出双因子增强或者是非线性增强,并不存在独立或者减弱的关系,也就是说任意2个因子的交互作用对于生态环境指数的作用都要大于单个因子,即阿勒泰市生态环境质量空间的演变是受到多个因素共同作用的结果,交互作用 q 值与2个因子之间的交互作用对于生态环境质量的影响程度成正比。2015年双因子增强有9项,非线性增强有1项,对MRSEI交互作用影响最强的是AOD∩LST、LST∩WET以及WET∩NDBSI的交互作用,q 值均为1,且 q 值都很高,均在0.8以上。2017年双因子增强有6项,非线性增强有4项,LST∩WET和WET∩NDBSI的交互作用最强,q 值仍为1,其余因子交互探测与2015年相同,q 值也均在0.8以上。2019年和2021年交互作用与2015年和2017年不同,呈现出非线性增强项多,双因子增强项少的规律,2019年空气质量与其他因子交互探测值相对较低,2021年交互作用最强的2个因子是AOD∩NDVI(q=0.971)。结果表明,任意双因子的交互探测作用相较于单因子对于阿勒泰市MRSEI的影响程度均有大幅提高。

4 结 论

本研究基于改进的遥感生态环境质量MRSEI模型,探究了2015—2021年阿勒泰市的生态环境质量的时空动态变化特征并将其结果与RSEI进行对比,应用地理探测器模型,分别对绿度、干度、湿度、温度和空气质量5个指标进行了单因子探测与多因子交互探测,分析其对研究区生态环境指数的影响程度,主要结论如下:

(1) 2015—2021年,阿勒泰市绿度和湿度指标对于区域内改进型遥感生态指数起正相关作用,而温度、干度和空气质量这3个指标对此起负相关作用。其中干度和绿度对于指数的影响较大,主要得益于一系列林业生态工程。

(2) 阿勒泰市整体生态质量有变好的趋势。空间上,Ⅰ和Ⅱ级区域的空间迁移能力较强,Ⅲ~Ⅴ级,即高生态指数区域在空间上相对稳定。Ⅰ~Ⅳ级重心总体北移,Ⅴ级重心总体南移,表明阿勒泰市南部生态环境质量逐渐好转。

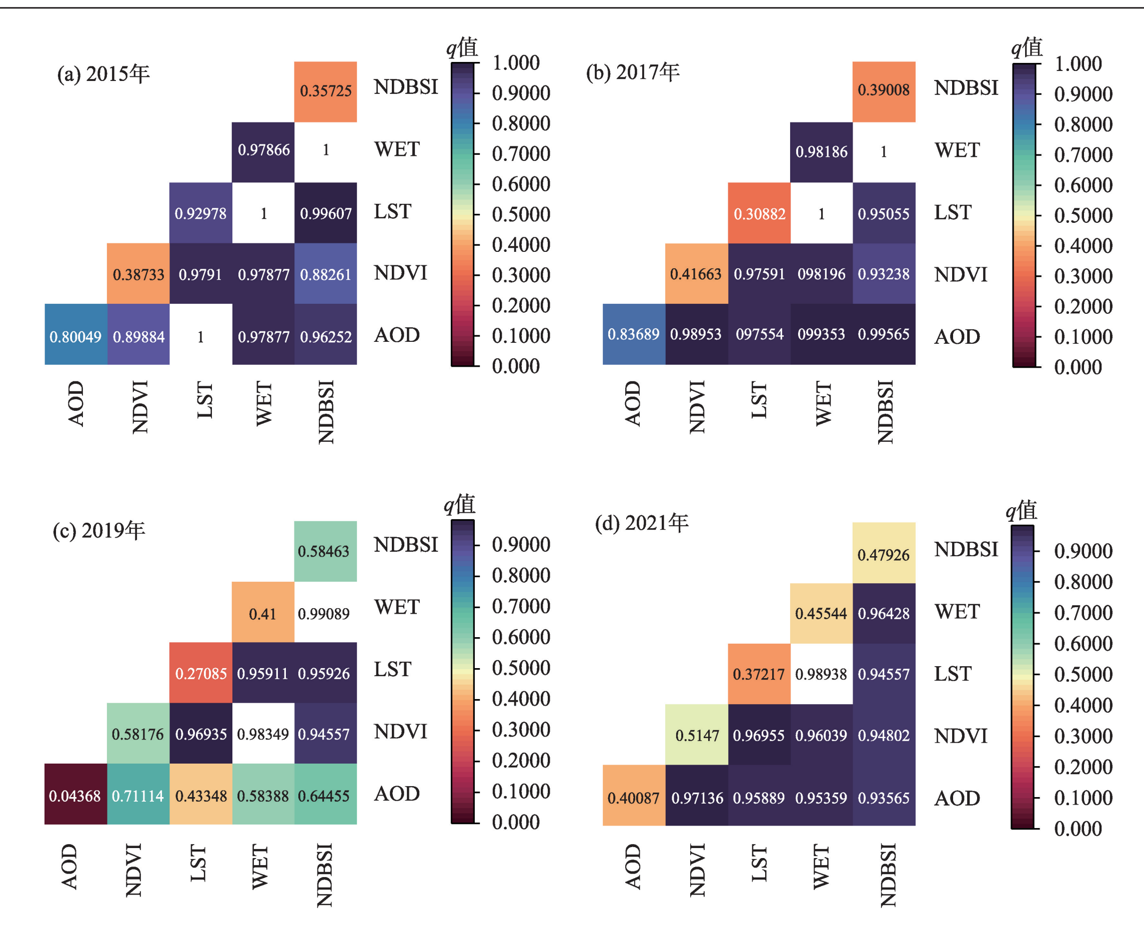


图7　多因子交互作用探测结果

Fig. 7　Multi-factor interaction detection results

(3) 绿度、干度、湿度、温度和空气质量5个因子具有显著性差异且作用强度随时间而变,2015年造成生态环境质量变化的主导因子分别为湿度、温度和空气质量,2021年主导因子为绿度。任意2个因子的交互作用对于生态环境指数的作用都要大于单个因子,即阿勒泰市生态环境质量空间的演变是受到多个因素共同作用的结果。

(4) MRSEI和RSEI在空间分布和程度上存在差异,但其对阿勒泰市生态监测结果大致趋势一致,两者差异与AOD的空间分布有关,表明了即使在空气质量较好的阿勒泰市AOD对其生态质量在空间分布上仍有影响。

参考文献(References):

[1] 生态环境是人类生存和发展的根基[J]. 资源导刊, 2022, 429(8): 4. [Ecological environment is the foundation of human survival and development[J]. Resources Guide, 2022, 429(8): 4.]

[2] 耿静, 徐栋, 吴御豪, 等. 海南岛生态环境质量时空变化及其对气候变化与人类活动的响应[J]. 生态学报, 2022, 42(12): 4795–4806. [Geng Jing, Xu Dong, Wu Yuhao, et al. Spatio-temporal evolution of eco-environment quality and the response to climate change and human activities in Hainan Island[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(12): 4795–4806.]

[3] 排日海·合力力, 昝梅, 阿里木江·卡斯木. 乌鲁木齐市生态环境遥感评价及驱动因子分析[J]. 干旱区研究, 2021, 38(5): 1484–1496. [Pariha Helili, Zan Mei, Alimjan Kasim. Remote sensing evaluation of ecological environment in Urumqi City and analysis of driving factors[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(5): 1484–1496.]

[4] 王静, 周伟奇, 许开鹏, 等. 京津冀地区的生态质量定量评价[J]. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2667–2676. [Wang Jing, Zhou Weiqi, Xu Kaipeng, et al. Quantitative assessment of ecological quality in Beijing-Tianjin-Hebei urban megaregion, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(8): 2667–2676.]

[5] 张学玲, 余文波, 蔡海生, 等. 区域生态环境脆弱性评价方法研究综述[J]. 生态学报, 2018, 38(16): 5970–5981. [Zhang Xueling, Yu Wenbo, Cai Haisheng, et al. Review of the evaluation methods of regional eco-environmental vulnerability[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(16): 5970–5981.]

[6] 宋慧敏, 薛亮. 基于遥感生态指数模型的渭南市生态环境质量动态监测与分析[J]. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3913–3919.

[Song Huimin, Xue Liang. Dynamic monitoring and analysis of ecological environment in Weinan City, Northwest China based on RSEI model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(12): 3913-3919.]

[7] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J]. 地理学报, 2016, 71(4): 531-550. [Fang Chuanglin, Zhou Chenghu, Gu Chaolin, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(4): 531-550.]

[8] 张保卫. 基于RSEI模型的生态环境质量评价及系统设计——以郑州市为例[D]. 郑州: 郑州大学, 2018. [Zhang Baowei. Eco-environmental Quality Assessment and System Design Based on RSEI Model- A Case Study of Zhenzhou[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2018.]

[9] 王志杰, 代磊. 黔中喀斯特山地城市土地利用/覆被变化及其生态效应评价——以贵阳市花溪区为例[J]. 生态学报, 2021, 41(9): 3429-3440. [Wang Zhijie, Dai Lei. Assessment of land use/cover changes and its ecological effect in karst mountainous cities in central Guizhou Province: Taking Huaxi District of Guiyang City as a case[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(9): 3429-3440.]

[10] Yan Y, Zhuang Q, Zan C, et al. Using the Google Earth Engine to rapidly monitor impacts of geohazards on ecological ouality in highly susceptible areas[J]. Ecological Indicators, 2021, 132: 108258, 10.1016/j.ecolind.2021.108258.

[11] Tang P, Huang J, Zhou H, et al. Local and telecoupling coordination degree model of urbanization and the eco-environment based on RS and GIS: A case study in the Wuhan Urban agglomeration [J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 75: 103405, 10.1016/j.scs.2021.103405.

[12] Xiong Y, Xu W, Lu N, et al. Assessment of spatial-temporal changes of ecological environment quality based on Rsei and Gee: A case study in Erhai Lake Basin, Yunnan Province, China[J]. Ecological Indicators, 2021, 125: 107518, 10.1016/j.ecolind.2021.107518.

[13] 徐伟恒, 熊源, 黄邵东, 等. 遥感在生态环境质量监测与评价中的应用现状研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学): 2023, 43(2): 195-204. [Xu Weiheng, Xiong Yuan, Huang Shaodong, et al. Review and research progress of the application of remote sensing in ecological environment quality monitoring and evaluation[J]. Journal of Southwest Forestry University(Natural Sciences), 2023, 43(2): 195-204.]

[14] 张灿, 徐涵秋, 张好, 等. 南方红壤典型水土流失区植被覆盖度变化及其生态效应评估——以福建省长汀县为例[J]. 自然资源学报, 2015, 30(6): 917-928. [Zhang Can, Xu Hanqiu, Zhang Hao, et al. Fractional vegetation cover change and its ecological effect assessment in a typical reddish soil region of Southeastern China: Changting County, Fujian Province[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(6): 917-928.]

[15] 孙从建, 李晓明, 张文强, 等. 基于遥感信息的吕梁山贫困区生态安全评价[J]. 中国环境科学, 2019, 39(12): 5352-5360. [Sun Congjian, Li Xiaoming, Zhang Wenqiang, et al. Evaluation of ecological security in poverty- stricken region of Lüliang Mountain based on the remote sensing image[J]. China Environmental Science, 2019, 39 (12) : 5352-5360.]

[16] 徐涵秋. 城市遥感生态指数的创建及其应用[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7853-7862. [Xu Hanqiu. A remote sensing urban ecological index and its application[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7853-7862.]

[17] 张雨斯, 包玉海, 贺忠华. 1990—2021年内蒙古遥感生态环境质量变化及趋势分析——以呼伦贝尔市陈巴尔虎旗为例[J]. 干旱区研究, 2023, 40(2): 326-336. [Zhang Yusi, Bao Yuhai, He Zhonghua. Detecting the change and trend of remote sensing ecological quality in Inner Mongolia from 1990-2021: A case study of Chenbarhu Banner of Hulunbuir City[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(2): 326-336.]

[18] 乔雪梅, 刘普幸, 任媛, 等. 基于遥感的黑河流域生态环境变化特征及成因分析[J]. 中国环境科学, 2020, 40(9): 3962-3971. [Qiao Xuemei, Liu Puxing, Ren Yuan, et al. Analysis of the characteristics and driving factors of ecological environment changes in Heihe river basin based on remote sensing data[J]. China Environmental Science, 2020, 40(9): 3962-3971.]

[19] 杨羽佳, 张怡, 匡天琪, 等. 利用改进城市遥感生态指数的苏州市生态分析[J]. 测绘科学技术学报, 2021, 38(3): 323-330. [Yang Yujia, Zhang Yi, Kuang Tianqi, et al. Ecological analysis of Suzhou City using improved urban remote sensing ecological index [J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2021, 38(3): 323-330.]

[20] 黄锦, 陈勇, 周皓, 等. 基于改进RSEI模型的矿业城市生态环境质量变化研究[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(1): 187-192. [Huang Jin, Chen Yong, Zhou Hao, et al. Study on the changes of ecological environment quality of Mining City based on Improved RSEI model[J]. Mining Research and Development, 2022, 42(1): 187-192.]

[21] 徐涵秋, 邓文慧. MRSEI指数的合理性分析及其与RSEI指数的区别[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(1): 1-7. [Xu Hanqiu, Deng Wenhui. Rationality analysis of MRSEI and its difference with RSEI[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(1): 1-7.]

[22] Liao Weihua, Jiang Weiguo, Huang Ziqian. Spatiotemporal variations of eco- environment in the Guangxi Beibu Gulf Economic Zone based on remote sensing ecological index and granular computing[J]. Journal of Geographical Sciences, 2022, 32(9): 1813-1830.

[23] 第五泾渭, 梅家龙, 余翰名, 等. 半干旱地区遥感生态指数的构建及应用[J]. 环境监测管理与技术, 2022, 34(4): 21-26. [Di Wujingwei, Mei Jialong, Yu Hanming, et al. Construction and application of remote sensing ecological index in semi-arid region[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring,

2022, 34(4): 21-26.]

[24] 徐涵秋. 水土流失区生态变化的遥感评估[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 91-97, 294. [Xu Hanqiu. Assessment of ecological change in soil loss area using remote sensing technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(7): 91-97, 294.]

[25] 王杰, 马佳丽, 解斐斐, 等. 干旱地区遥感生态指数的改进——以乌兰布和沙漠为例[J]. 应用生态学报, 2020, 31(11): 3795-3804. [Wang Jie, Ma Jiali, Xie Feifei. et al. Improvement of remote sensing ecological index in arid regions: Taking Ulan Buh Desert as an example[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(11): 3795-3804.]

[26] 范德芹, 邱玥, 孙文彬, 等. 基于遥感生态指数的神府矿区生态环境评价[J]. 测绘通报, 2021(7): 23-28. [Fan Deqin, Qiu Yue, Sun Wenbin, et al. Evaluating ecological environment based on remote sensing ecological index in Shenfu mining area[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2021(7): 23-28.]

[27] 刘英, 党超亚, 岳辉, 等. 改进型遥感生态指数与RSEI的对比分析[J]. 遥感学报, 2022, 26(4): 683-697. [Liu Ying, Dang Chaoya, Yue Hui, et al. Comparison between modified remote sensing ecological index and RSEI[J] National Remote Sensing Bulletin, 2022, 26(4): 683-697.]

[28] 孟琪, 武志涛, 杜自强, 等. 基于地理探测器的区域植被覆盖度的定量影响——以京津风沙源区为例[J]. 中国环境科学, 2021, 41(2): 826-836. [Meng Qi, Wu Zhitao, Du Ziqiang, et al. Quantitative influence of regional fractional vegetation cover based on geodetector model:Take the Beijing-Tianjin sand source region as an example[J]. China Environmental Science, 2021, 41(2): 826-836.]

[29] 朱增云, 阿里木江·卡斯木. 基于地理探测器的伊犁谷地生境质量时空演变及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2020, 39(10): 3408-3420. [Zhu Zengyun, Alimujiang Kasimu. Spatial-temporal evolution of habitat quality in Yili Valley based on geographical detector and its influencing factors[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(10): 3408-3420.]

[30] 新疆维吾尔自治区生态环境厅. 新疆维吾尔自治区2020年生态环境状况公报[DB/OL]. https://sthjt.Xinjiang.gov.cn. [Geography of Ecological Environment Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Xinjiang Uygur Autonomous Region 2020 ecological environment status bulletin [DB/OL]. https://sthjt.Xinjiang.gov.cn.

[31] 王飞, 李海花, 刘红霞. 阿勒泰市大气污染物的统计特征分析[J]. 新疆农垦科技, 2018, 41(3): 44-46. [Wang Fei, Li Haihua, Liu Hongxia. Statistical analysis of air pollutants in Altay City [J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 2018, 41(3): 44-46.]

[32] Goward Samuel-N, Xue Yongkang, Czajkowski Kevin-P. Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements: An exploration with the simplified simple biosphere model[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 79(2-3): 225-242.

[33] Artis D A, Carnahan W H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas[J]. Remote Sensing of Environment, 1982, 12(4): 313-329.

[34] Weng Q, Lu D, Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89(4): 467-483.

[35] Nichol J. Remote sensing of urban heat islands by day and night [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2005, 71(5): 613-621.

[36] Xu H. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(14): 4269-4276.

[37] Rikimaru A, Roy P, Miyatake S. Tropical forest cover density mapping[J]. Tropical Ecology, 2002, 43(1): 39-47.

[38] Lyapustin A, Martonchik J, Wang Y, et al. Multiangle implementation of atmospheric correction(maiac): 1. Radiative transfer basis and look- up tables[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2011, 116: D03210, 10.1029/2010JD014985.

[39] Paciorek C J, Liu Y, Moreno-macias H, et al. Spatiotemporal associations between goes aerosol optical depth retrievals and ground-level $PM_{2.5}$[J]. Environmental Science & Technology, 2008, 42(15): 5800-5806.

[40] 施益强, 陈坰烽, 王坚, 等. 厦门市MODIS气溶胶光学厚度与$PM_{2.5}$的时空特征及其相关性[J]. 大气与环境光学学报, 2020, 15(5): 334-346. [Shi Yiqiang, Chen Jiongfeng, Wang Jian, et al. Spatial and temporal characteristics and correlation of MODIS aerosol optical depth and $PM_{2.5}$ concentration over Xiamen City[J]. Journal of Atmospheric and Environmental Optics, 2020, 15(5): 334-346.]

[41] 张超, 叶松, 汪杰君, 等. 桂林气溶胶光学厚度与$PM_{2.5}$关系特性[C]//《环境工程》2019年全国学术年会论文集(中册). 北京:《工业建筑》杂志社有限公司, 2019: 235-238. [Zhang Chao, Ye Song, Wang Jiejun, et al. Relationship between aerosol optical depthh and $PM_{2.5}$ in Guilin[C]//Proceedings of the 2019 National Academic Annual Conference of 'Environmental Engineering' (Volume 2). Beijing: Industrial Building Magazine Co., Ltd., 2019: 235-238.]

[42] 高宇潇, 刘志辉, 王敬哲. 乌鲁木市$PM_{2.5}$浓度与MODIS气溶胶光学厚度相关性分析[J]. 干旱区地理, 2018, 41(2): 298-305. [Gao Yuxiao, Liu Zhihui, Wang Jingzhe. Correlation analysis of $PM_{2.5}$ concentration and MODIS aerosol optical depth in Urumqi City[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(2): 298-305.]

[43] 张新蕾, 黄凤荣. 基于大连市MODIS数据的气溶胶光学厚度与$PM_{2.5}$和PM_{10}的相关性分析[J]. 国土与自然资源研究, 2017(6): 59-61. [Zhang Xinlei, Huang Fengrong. Correlative analysis of aerosol optical thickness and $PM_{2.5}$ and PM_{10} based on MODIS data of Dalian[J]. Territory & Natural Resources Study, 2017(6): 59-61.]

[44] 李昕. 基于MODIS的AOD反演与$PM_{2.5}$时空变化分析与监测

——以香港地区为例[D]. 泰安：山东农业大学, 2017. [Li Xin. MODIS AOD Retrieval and Analysis and Monitoring for Spatio-temporal Variation of $PM_{2.5}$: A Case Study in Hong Kong[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2017.]

[45] 秦文, 武云霞, 盛逵, 等. 基于MODIS-AOD产品的南昌市近地面颗粒物定量反演[J]. 广州化工, 2016, 44(23): 125−128. [Qin Wen, Wu Yunxia, Sheng Zan, et al. Study on quantitative inversion MODIS-AOD products and surface atmospheric particulate matter concentration in Nanchang City[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2016, 44(23): 125−128.]

[46] 王伟齐, 臧增亮, 张梅. 北京地区$PM_{2.5}$、PM_{10}与卫星AOD的相关性分析(S9)[C]//第32届中国气象学会年会S9大气成分与天气、气候变化. 北京: 中国气象学会, 2015: 304−306. [Wang Weiqi, Zang Zengliang, Zhang Mei. Correlation analysis of $PM_{2.5}$, PM_{10} and satellite AOD in Beijing(S9)[C]//S9 Atmospheric Composition and Weather, Climate Change. Beijing: China Meteorological Society, 2015: 304−306.]

[47] 刘皓宇. 赣南地区土地利用与经济重心迁移特征及影响因素分析[D]. 南昌: 南昌大学, 2018. [Liu Haoyu. The Analysis of the Characteristics and Influencing Factors of Land Use and in Gannan and Economic Center of Gravity's Migration [D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.]

[48] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116−134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116−134.]

Spatio-temporal changes and driving forces in the ecological environment of Altay City determined using an MRSEI model

LIU Xiao[1,2], GUO Peng[1,2], QI Jiafeng[1,2], DU Wenling[1,2], ZHANG Ruqian[1,2], ZHANG Kun[1,2]

(1. College of Science, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China; 2. Key Laboratory of Oasis Town and Mountain Basin System, Shihezi 832003, Xinjiang, China)

Abstract: To evaluate the ecological environment of Altay City in Xinjiang in a timely, objective, and quantitative manner, an improved remote sensing ecological index (MRSEI) was constructed based on multi-source remote sensing data. The spatial and temporal variation characteristics were then analyzed by combining a standard deviation ellipse and gravity center migration model. A geographical detector model was used to detect the five indicators, which were greenness, dryness, humidity, temperature, and air quality. (1) From 2015 to 2021, the greenness and humidity indexes of Altay City showed a significant positive correlation with the ecological environment in the region. In contrast, the three indexes for temperature, dryness, and air quality showed significant negative correlations. (2) From 2015 to 2021, the average value of the MRSEI in Altay City increased. The spatial migration ability of ecological index areas I and II was strong, while III-V were relatively stable in the spatial structure. The center of gravity for ecological index areas I-IV moved north, while the center of gravity for area V moved south, indicating that the distribution of the high ecological index in the south of Altay City increased significantly. (3) The dominant factors causing the changes in the eco-environmental quality differed each year. The spatial evolution of eco-environmental quality in Altay is the result of multiple factors. (4) The differences in spatial distribution and the differences between the MRSEI and RSEI data are related to the spatial distribution of AOD, indicating that even if Altay City had improved air quality, AOD would still have an impact on the ecological quality of the spatial distribution. From 2015 to 2021, the ecological environment of Altay City was thus found to be affected by many factors and tended to improve toward the south.

Keywords: modified remote sensing ecological index; ecological environment quality; geographical detector; center of gravity migration model; Altay City